

## ارزیابی اثر مدیریت آبیاری شور و شیرین بر عملکرد برنج رقم هاشمی

مریم نوابیان\* و محبوبه آفاجانی<sup>۱</sup>

(تاریخ دریافت: ۱۳۸۹/۱۲/۲۲؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۱/۲/۴)

### چکیده

رودخانه سفیدرود به عنوان مهم‌ترین منبع آب آبیاری استان گیلان، در اثر کاهش حجم مخزن سد سفیدرود، افزایش برداشت از سرشاخه‌ها، خشک‌سالی‌های پیاپی و ورود پسماندهای مختلف به رودخانه، دچار روند افزایش شوری و کاهش دبی شده است. این تحقیق، با استفاده از مدل شبیه‌سازی- بهینه‌سازی، عمق و دوره تناوبی آبیاری را متناسب با مقاومت مراحل مختلف رشد برنج به شوری به گونه‌ای تعیین می‌نماید که حداقل کاهش عملکرد ایجاد شود. مدل شبیه‌ساز SWAP پس از واسنجی برای شبیه‌سازی مراحل رشد گیاه برنج رقم هاشمی استفاده شد. براساس نتایج مدل شبیه‌سازی- بهینه‌سازی، مدیریت بهینه آبیاری متناوب با آب شور و شیرین، آبیاری با دوره تناوب ۸ روز و شوری ۰/۷۴۷ دسی‌زیمنس بر متر در مرحله حساس زایشی و ۳/۳۶ دسی‌زیمنس بر متر در مراحل نسبتاً مقاوم استقرار، پنجه‌زنی و رسیدگی به دست آمد. هم‌چنین بر طبق نتایج، رژیم آبیاری با عمق آب آبیاری ۵، ۳، ۳ و ۱ سانتی‌متر به ترتیب در مراحل استقرار، پنجه‌زنی، زایشی و رسیدگی پیشنهاد می‌گردد. مقایسه مدیریت‌های آبیاری با آب شور به تناسب مقاومت مراحل رشد با آبیاری با شوری ثابت در طول دوره رشد نشان داد که مدیریت آبیاری براساس مقاومت مراحل مختلف رشد به شوری سبب بهبود ۱۹-۲۴ درصدی عملکرد محصول برنج می‌شود.

واژه‌های کلیدی: بهینه‌یابی رژیم آبیاری، مدل SWAP، مدیریت تناوبی با آب شور و شیرین، مقاومت مراحل رشد به شوری

۱. به ترتیب استادیار و دانشجوی سابق کارشناسی‌ارشد مهندسی آب، دانشکده علوم کشاورزی، دانشگاه گیلان

\*: مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: [navabian@guilan.ac.ir](mailto:navabian@guilan.ac.ir)

## مقدمه

یکی از نارسایی‌های عمده در توسعه کشاورزی، محدودیت‌های کمی و کیفی منابع آب است. با حادث شدن روزافزون مشکل کمبود آب، استفاده از آب‌های با کیفیت نامطلوب از اهمیت زیادی برخوردار شده است (۲). به همین دلیل، آب‌های شور و لب شور در زمره آب‌های غیرمعارف در کشاورزی مورد توجه بسیاری قرار گرفته است. به طوری که در برخی مناطق به دلیل کمبود منابع آب شیرین، آب‌های شور به عنوان تنها منبع آب کشاورزی مورد استفاده قرار می‌گیرند (۴). در ایران، شوری خاک و آب آبیاری از عمده‌ترین عوامل محدودکننده رشد گیاهان محسوب می‌شود. نه تنها گیاهان مختلف توانایی‌های متفاوتی در محیط‌های شور از خود نشان می‌دهند، بلکه یک گیاه هم در مراحل مختلف رشد واکنش‌های متفاوتی نسبت به شوری دارد. برنج نقش مهمی در تغذیه نیمی از مردم جهان، به ویژه ساکنان کشورهای در حال توسعه دارد (۵). شوری سبب کاهش عملکرد دانه و بیولوژیک محصول برنج می‌گردد. آثار شوری ناشی از تجمع یون‌های منیزیم، کلسیم، کلر و سولفات می‌تواند سبب تأخیر در جوانه‌زنی و رشد گیاهچه، تأخیر در گل‌دهی و افزایش خوشه‌چه‌های پوک گیاه برنج، بازداری رشد، لوله شدن برگ‌ها، لکه‌های سفید در سطح برگ، خشک شدن برگ‌های مسن‌تر، رشد ضعیف ریشه و افزایش درصد مرگ برگ‌ها شود (۱۸). گیاه برنج، در مرحله جوانه‌زنی (رویشی) به شوری نسبتاً مقاوم‌تر، در اوایل مرحله گیاهچه‌ای خیلی حساس، در طول مرحله رویشی مقاوم، در مرحله گل‌دهی (زایشی) خیلی حساس و در مرحله رسیدگی فیزیولوژیک مقاوم به شوری است (۲۱). در مجموع، شوری در مرحله زایشی بیشتر از مرحله رویشی سبب کاهش عملکرد دانه می‌شود.

تاکنون راهکارهای مدیریتی مانند اختلاط آب شور و شیرین، تناوب زراعی، کاربرد مواد اصلاحی شیمیایی و مدیریت آبیاری به منظور کاهش اثر شوری آب و خاک در اراضی شالیزاری به کار گرفته شده‌اند (۱۰). با توجه به واکنش متفاوت مراحل مختلف رشد گیاه برنج به شوری آب آبیاری، کاربرد

متناوب آب شور و شیرین برحسب مقاومت هر مرحله از رشد نسبت به شوری از مهم‌ترین راهکارهای مقابله با کاهش پتانسل عملکرد و اریته‌های برنج است. به طوری که علاوه بر افزایش عملکرد محصول، در مقایسه با روش اختلاط یا کاربرد آب شور یا لب شور، منجر به حفظ کیفیت منابع آب از دو طریق استفاده مجدد از زه‌آب اراضی به عنوان آب نامتعارف و عدم اختلاط منابع آب شور و شیرین می‌شود. از آنجا که تحقیقات صورت گرفته در زمینه استفاده از آب شور در کشت برنج، شامل استفاده از روش اختلاط آب شور و شیرین یا استفاده از آب شور است، بنابراین برای ارزیابی اثر شوری بر برنج به برخی از آنها اشاره می‌شود. اسدی و همکاران (۱) برای ارقام اصلاح شده در آمل در شوری‌های ۲، ۴ و ۶ دسی‌زیمنس بر متر نسبت به تیمار شاهد ۰/۸ دسی‌زیمنس بر متر، به ترتیب افت عملکرد ۲۳، ۶۳ و ۸۵ درصد را گزارش دادند.

معمد و همکاران (۲۳) در ایستگاه تحقیقاتی آمل، بیشترین افت عملکرد محصول را نسبت به تیمار ۰/۸ دسی‌زیمنس بر متر به میزان ۴۱٪ در محدوده شوری ۴-۲ دسی‌زیمنس بر متر اعلام نمودند. در همان ایستگاه تحقیقاتی، تفتی و همکاران (۳)، با بررسی چهار سطح شوری صفر، ۵/۴۶، ۳۱ و ۵۱/۵ میلی‌اکی‌والان در کیلوگرم روی ارقام ندا، نعمت، طارم، خزر و فجر نشان دادند که ارتفاع بوته، طول خوشه، کلیه اجزای عملکرد و عملکرد دانه با افزایش سطح شوری به طور معنی‌داری کاهش یافتند. استغن و همکاران (۲۶) در کالیفرنیا، بیشترین افت عملکرد محصول را در محدوده شوری ۳/۰-۱/۹ دسی‌زیمنس بر متر به میزان ۳۴٪ اعلام کردند. ایشان برای شیب کاهش عملکرد به جای عدد ۱۲٪ عدد ۹/۱٪ را پیشنهاد کردند. تان و همکاران (۲۷) در میانمار، با بررسی شوری صفر، ۲، ۴ و ۶ دسی‌زیمنس بر متر روی رقم برنج گزارش دادند که با افزایش سطح شوری، جوانه‌زنی و وزن ماده خشک ریشه کاهش می‌یابد. چندرا (۱۶) در هندوستان، با آب آبیاری قلیایی، برای برنج باسماتی عملکرد ۲/۹ و رقم جایا عملکرد ۳/۳ تن در هکتار و ترکیب آب شور و شیرین به ترتیب ۳/۵ و ۴/۱ تن در

در اراضی شالیزاری انجام نگرفته است. بنابراین برخی از تحقیقات صورت گرفته در زمینه بهینه‌سازی مدیریت کمی آب آبیاری، عنوان می‌شود. ژائو و همکاران (۲۸) در چین، از الگوریتم ژنتیک برای بهینه‌یابی مدل برنامه‌ریزی خطی چند منظوره با حداکثر کردن مقدار عملکرد گیاه و سود اکولوژی استفاده نمودند که به نتایج خوبی در سیستم‌های کشاورزی اراضی شالیزاری نیز دست یافتند. در این مدل ریاضی حداکثرسازی سود خالص کل از کشت سالانه، بیشینه‌یابی مجموع تولید سالانه گیاهان تحت کشت و حداکثر نمودن سود اکولوژی به عنوان توابع هدف سه‌گانه ارائه گردیدند. در این مدل الگوی کشت، مساحت تحت کشت، عملکرد انواع گیاه، قیمت محصولات، هزینه کشت، سرعت تولید گاز متان، قیمت متان به عنوان متغیرهای تصمیم مدنظر بودند.

اینس و همکاران (۲۰) در تحقیقی در هندوستان، از داده‌های ماهواره‌ای شاخص سطح برگ را تعیین نمودند و سپس با استفاده از مقادیر شبیه‌سازی مدل SWAP، گزینه بهینه مدیریت آبیاری برنج شامل عمق آب آبیاری را براساس روش حل الگوریتم ژنتیک تعیین کردند. سینگ و همکاران (۲۵) در هندوستان نشان دادند که مدل SWAP به دلیل قابلیت شبیه‌سازی حرکت آب و املاح و رشد محصول یک ابزار مدیریتی مناسب در برنامه‌ریزی و مدیریت آب در مزرعه است. مدل SWAP به منظور شبیه‌سازی و پیش‌بینی عملکرد محصول و جریان آب و املاح در سیستم‌های هیدرولوژیکی کشاورزی در کشورهای مختلف مورد ارزیابی قرار گرفته و نتایج مطلوبی در مقایسه با اندازه‌گیری مزرعه‌ای به دنبال داشت (۱۲). اختر و همکاران (۱۴) در تایلند از ترکیب مدل هیدرولوژیکی کشاورزی SWAP و مدل بهینه‌یابی که به روش الگوریتم ژنتیک حل شده است، مقدار بهینه تبخیرتغرق را برآورد نمودند. راجو و کومار (۲۴) در هند الگوریتم ژنتیک را با هدف بیشینه‌سازی مقدار سود اقتصادی برای پروژه آبیاری مناسب ارزیابی کردند. در این پژوهش توزیع عادلانه آب، میزان آب و زمین مورد نیاز، تنوع گیاه و محدودیت ذخیره‌سازی آب به

هکتار را گزارش داد. هاسا موزمان و همکاران (۱۹) در بنگلادش، طی تحقیقی با بررسی غلظت صفر، ۳۰، ۶۰، ۹۰، ۱۲۰ و ۱۵۰ میلی مولار کلرید سدیم در آب آبیاری گزارش نمودند که در غلظت‌های بیش از ۱۵۰ میلی مولار کلرید سدیم، عملکرد محصول ۵۰-۳۶ درصد کاهش می‌یابد. محمدی‌نژاد و همکاران (۲۲) در مؤسسه IRRRI در غلظت‌های صفر، ۶۰ و ۱۰۰ میلی مولار کلرید سدیم آب آبیاری، بیشترین کاهش عملکرد محصول را به میزان ۴۰٪ در محدوده غلظت ۶۰-۰ میلی مولار کلرید سدیم اعلام نمودند.

مطالعات صورت گرفته در خصوص دوره تناوب و عمق آب آبیاری (رژیم آبیاری)، نشان داد که کم آبیاری اصولی تأثیر کاهشی چشمگیری بر عملکرد محصول ندارد. فرداد و شیردلی (۹) در یک بررسی نشان دادند که افزایش دور آبیاری ۲ تا ۷ روز موجب بهبود عملکرد محصول برنج می‌شود ولی ادامه روند افزایش دور آبیاری به دلیل مقاومت ریشه در برابر جذب آب و مواد غذایی منجر به کاهش چشمگیر وزن هزار دانه، ارتفاع گیاه و در نهایت عملکرد بیولوژیکی محصول برنج می‌شود. سلیمانی و امیری (۱۱) نشان دادند که به جز در مراحل تشکیل خوشه اولیه تا مرحله رسیدگی که نیاز به شرایط غرقاب ضروری می‌باشد خشکاندن زمین در سایر روزهای کشت موجب بهبود عملکرد محصول برنج می‌شود. رضایی و نحوی (۶) در مؤسسه تحقیقات برنج رشت ۸ روز را بهترین دوره تناوب برای رقم هاشمی در آبیاری تناوبی با دور ثابت و عمق ۵ سانتی‌متر به دست آوردند. هم‌چنین رضایی (۷) برای رقم بینام و حسنی در شرایط کم‌آبی، کم‌آبیاری متوسط و کم آبیاری شدید به ترتیب آبیاری با تأخیر ۰، ۳ و ۶ روز پس از ناپدید شدن از سطح زمین را دارای بهترین بهره‌وری آب گزارش نمود. بهینه‌سازی شوری آب آبیاری، عمق و دوره تناوب آبیاری در هر یک از مراحل رشد با توجه به مقاومت متفاوت مراحل رشد گیاه برنج به شوری می‌تواند منجر به مدیریت بهینه کمی و کیفی آب آبیاری و حداقل کاهش عملکرد محصول گردد. تاکنون بهینه‌سازی هم زمان مدیریت کمی و کیفی آب آبیاری

که EC شوری آب رودخانه برحسب  $(ds/m \times 1000)$  و  $x$  سال شمسی است. مقایسه حداکثر شوری کنونی سفیدرود (۲ دسی‌زیمنس بر متر)، شوری روندیابی شده برای ۱۰ سال آینده (۴/۵۶ دسی‌زیمنس بر متر) و شوری آستانه تحمل برنج برای دستیابی به عملکرد ۸۵٪ (۲/۸۶ دسی‌زیمنس بر متر) نشان‌دهنده اهمیت مطالعه مدیریت آبیاری با آب شور است. به منظور ارزیابی اثر شوری بر مراحل مختلف رشد برنج بهینه‌یابی شوری، عمق و دوره تناوب آبیاری متناوب با آب شور و شیرین از مدل شبیه‌سازی آگروهیدرولوژیک SWAP استفاده شد. این مدل توانایی شبیه‌سازی رشد گیاه و انتقال آب و املاح در مقیاس صحرایی را دارد (۱۷). اساس مدل، ارتباط فیزیکی پارامترهای خاک، آب، اتمسفر و گیاه است و از اطلاعات مختلف اقلیم، آب، خاک و گیاه استفاده می‌کند (۱۲). مدل SWAP از پنج زیرمدل اصلی شامل هواشناسی، گیاه، خاک، آبیاری و برنامه زمان‌بندی تشکیل شده است.

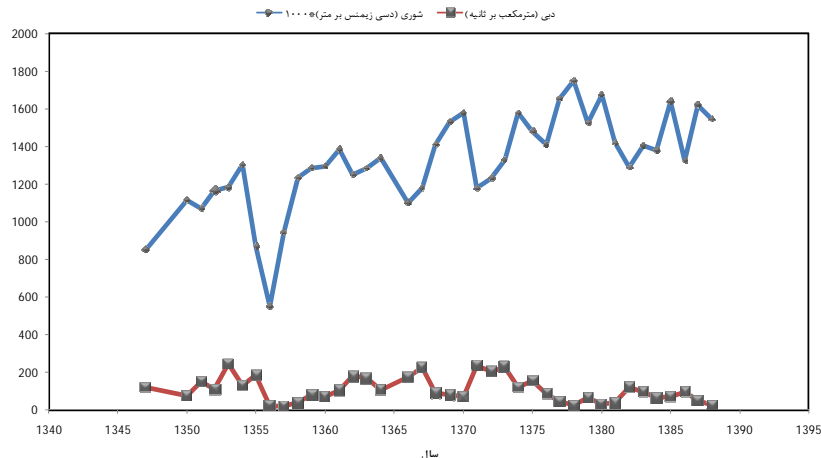
داده‌های زیرمدل هواشناسی شامل حداقل و حداکثر دمای هوا، رطوبت نسبی، ساعات آفتابی، سرعت باد، میزان بارندگی و تبخیر از تشت کلاس A مربوط به ایستگاه سینوپتیک هواشناسی رشت در سال ۱۳۸۶ می‌باشد. داده‌های تشت تبخیر با ضریب ۰/۷۸ که حاصل تحقیقی در طی دوره کشت برنج (۱۳۷۸) در مؤسسه تحقیقات برنج رشت است، به تبخیر تعرق پتانسیل تبدیل شد (۸). زیرمدل گیاهی مدل SWAP شامل مدل ساده و مدل پیشرفته می‌باشد که در این تحقیق به دلیل دسترسی به داده‌های شاخص سطح برگ و عملکرد محصول، از مدل ساده استفاده شده است. پارامترهای گیاهی در مدل ساده شامل شاخص سطح برگ، ارتفاع گیاه، عمق توسعه ریشه و ضریب واکنش عملکرد در مراحل مختلف رشد می‌باشند که از داده‌های زراعی سال ۱۳۸۶ رقم هاشمی مؤسسه تحقیقات برنج رشت استفاده گردید. در این زیرمدل، مقدار آستانه شوری گیاه برنج، که حد بالای شوری بدون کاهش عملکرد محصول می‌باشد، ۲/۸۶ دسی‌زیمنس بر متر و شیب خط (درصد کاهش عملکرد محصول نسبی به ازای هر واحد افزایش شوری خاک) ۱۲

عنوان متغیرهای تصمیم تعیین شدند. با توجه به خشک‌سالی‌های چند سال اخیر استان گیلان، کمبود منابع آب، استفاده بی‌رویه از سموم و کودهای شیمیایی، احداث سدهای پرشمار در بالادست حوزه آبریز سفیدرود، رودخانه سفیدرود که مهم‌ترین منبع آب کشاورزی استان گیلان به شمار می‌رود، دچار روند افزایشی شوری شده است. به دلیل حساسیت گیاه برنج به شوری، هدف این تحقیق، استفاده از ابزار بهینه‌سازی برای تعیین شوری، عمق و دوره تناوب بهینه آب آبیاری برنج در مراحل مختلف رشد برای رقم هاشمی در نظر گرفته شد به گونه‌ای که سبب حداقل کاهش عملکرد محصول برنج شوند.

## مواد و روش‌ها

استان گیلان با مساحت ۱۴۰۳۰ کیلومترمربع در طول جغرافیایی ۳۶°۳۳' تا ۴۸°۳۲' و عرض جغرافیایی ۵۰°۴۸' شرقی و ارتفاع تا ۳۸°۲۷' شمالی در شمال ایران واقع شده است. حداقل ارتفاع استان ۲۶- متر و حداکثر آن ۳۱۹۷ متر است. منابع آب سطحی استان گیلان شامل رودخانه‌ها، دریاچه‌ها و تالاب‌ها می‌باشد. منابع آب سطحی و زیرزمینی استان به حوزه آبریز سفیدرود، شرق گیلان، فومنات و تالش تقسیم شده‌اند. حوزه آبریز سفیدرود با وسعتی حدود ۵۹۴۰۰ کیلومترمربع بین ۴۶°۳۰' تا ۵۱°۱۵' طول شرقی و ۳۴°۴۵' تا ۳۷°۵۷' عرض شمالی قرار دارد. مهم‌ترین رودخانه حوزه آبریز سفیدرود، سفیدرود می‌باشد. این رودخانه در طی سال‌های اخیر با کم‌آبی و شوری روبرو بوده است. شکل ۱ روند تدریجی افزایش شوری آب و کم‌آبی این رودخانه را در سال‌های اخیر به خوبی بیان می‌کند. بررسی روند حداکثر شوری رودخانه سفیدرود طی سال‌های ۸۹-۱۳۸۲، با ضریب همبستگی ۰/۹۴ داد (معادله ۱) که در صورت پیروی روند شوری از شرایط کنونی، به عنوان مثال در ۱۰ سال آینده، شوری رودخانه سفیدرود به ۴/۵۶ دسی‌زیمنس بر متر خواهد رسید.

$$EC = 179/17x - 246174/17 \quad [1]$$



شکل ۱. روند شوری و دبی سالانه رودخانه سفیدرود

جدول ۱. نتایج آزمایش تجزیه فیزیکی خاک مزرعه

عمق (سانتی متر)	کربن آلی (%)	شن (%)	سیلت (%)	رس (%)	بافت خاک	وزن مخصوص ظاهری (گرم بر سانتی متر مکعب)
۰-۱۵	۱/۷۲	۱۴	۳۹	۴۷	رسی	۱/۱
۱۵-۳۰	۱/۵۴	۱۷	۳۹	۴۴	رسی	۱/۲

جدول ۲. تغییرات رطوبت در مکش‌های مختلف

عمق (سانتی متر)	۳۳ (کیلو پاسکال)	۱۰۰ (کیلو پاسکال)	۴۵۰ (کیلو پاسکال)	۱۲۰۰ (کیلو پاسکال)	۱۵۰۰ (کیلو پاسکال)
۰-۱۵	۰/۴	۰/۳۶	۰/۳۱	۰/۲۸	۰/۲۷
۱۵-۳۰	۰/۴	۰/۳۷	۰/۳۳	۰/۳۱	۰/۳۰

مشخصات رقم هاشمی مزرعه پژوهشی مؤسسه تحقیقات برنج رشت، استفاده شد. این تحقیق صحرایی به صورت اسپلٹ پلات، بر پایه طرح بلوک کامل تصادفی و سه تکرار بر روی تیمارهای مدیریت آبیاری غرقاب دائم، دور آبیاری ۵ و ۸ روز برنج رقم هاشمی طی سال ۱۳۸۶ انجام گردید.

نشاکاری در تاریخ ۵ خرداد با فواصل ۲۰ × ۲۰ به گونه‌ای انجام شد که تعداد ۲۵ کپه در هر مترمربع زمین بود. شاخص سطح برگ طی ۵ نوبت، در فواصل زمانی متغیر، براساس مرحله رشد گیاه با استفاده از دستگاه اندازه‌گیری شاخص سطح برگ تعیین شد. هم‌چنین عملکرد محصول برنج در تیمارهای

دسی‌زیمنس بر متر در نظر گرفته شد. خصوصیات هیدرولیکی مورد نیاز در زیرمدل خاک شامل رطوبت باقی‌مانده و اشباع، هدایت هیدرولیکی اشباع و پارامترهای ون‌گنوختن با استفاده از درصد رس و سیلت، ماده آلی و جرم مخصوص ظاهری از طریق روش حل معکوس که در مدل RETC (۱۵) ارائه شده است، برآورد شدند. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک در جداول ۱ و ۲ ارائه شده‌اند. مدیریت آبیاری شامل عمق، دوره تناوب، کیفیت آب آبیاری در زیرمدل آبیاری با توجه به شرایط آبیاری برنج و مقادیر عرف منطقه و شوری رودخانه سفیدرود اعمال شد. در این تحقیق برای واسنجی مدل SWAP، از

تحمل گیاه برنج است) و  $b_1$  تا  $b_3$  کیفیت آب آبیاری با درجات شوری بالاتر (بیشتر از حد آستانه تحمل گیاه برنج) می‌باشند که براساس شوری رودخانه سفیدرود انتخاب شدند. قیود مدل بهینه‌سازی برای متغیرهای تصمیم با توجه به شوری‌های مختلف براساس معادله ۲ هستند. قیود مدل بهینه‌سازی برای متغیر تصمیم عمق آب در هر نوبت آبیاری با توجه به مطالعات مهدوی و پورعزیزی (۱۳) و رضایی و نحوی (۶) در نظر گرفته شدند. انتخاب دوره تناوب مناسب براساس شرایط فنی، مدیریتی، آب موجود و عملکرد مطلوب مورد انتظار از گیاه برنج از میان دوره‌های ثابت یا متغیر صفر تا ۸ (متناسب با شوری آب آبیاری) روز در طول دوره رشد صورت گرفت. مدل شبیه‌ساز SWAP براساس قیود متغیر تصمیم (معادلات ۳ و ۴) و روش حل الگوریتم ژنتیک در شرایط مختلف تنش هم‌زمان شوری و خشکی، برای برآورد عملکرد محصول اجرا شد. سپس مقادیر درصد عملکرد محصول برنج در مراحل مختلف رشد از فایل خروجی مدل SWAP استخراج و در تابع هدف مدل بهینه‌سازی مورد استفاده قرار گرفت.

### نتایج و بحث

دقت واسنجی مدل SWAP با استفاده از پارامتر شاخص سطح برگ برنج رقم هاشمی براساس داده‌های صحرایی مزرعه پژوهشی مؤسسه تحقیقات برنج رشت (۱۳۸۶)، در شکل ۲ نشان داده شده است. نتایج نشان می‌دهد که، شبیه‌سازی مدل SWAP با ضریب همبستگی و جذر میانگین مربعات خطای نرمال شده به ترتیب ۰/۹۷۴ و ۰/۰۹۸ صورت پذیرفته است. پس می‌توان به نتایج شبیه‌سازی رشد و توسعه گیاهی برنج رقم هاشمی توسط مدل، در شرایط مختلف تنش شوری و خشکی اعتماد نمود. شوری آب آبیاری در مراحل مختلف رشد تأثیر متفاوتی بر میزان عملکرد محصول گیاه برنج دارد. جدول ۳ رژیم بهینه آبیاری تناوبی با آب شور و شیرین در مراحل مختلف رشد برای دستیابی به حداکثر عملکرد محصول را نشان می‌دهد. نتایج نشان داد که اعمال مدیریت آبیاری، کاربرد آب

مختلف اندازه‌گیری شد. پارامتر شاخص سطح برگ در مراحل مختلف رشد و عملکرد محصول به عنوان معیار سنجش دقت واسنجی و پارامترهای راندمان تبدیل به ساقه، راندمان تبدیل به برگ، راندمان مصرف نور، ضریب خاموشی برای هدایت و پخش نور مرئی، حداکثر میزان همانندسازی دی‌اکسید کربن، شاخص سطح برگ در مرحله جوانه‌زنی و سطح ویژه برگ به عنوان ضرایب واسنجی مدل انتخاب شدند که توسط مدل PEST به دست آمدند.

مدل بهینه‌سازی با هدف حداکثرسازی عملکرد برنج، مقادیر شوری آب آبیاری، دوره تناوب و عمق آب آبیاری در مراحل مختلف رشد را برای اعمال مدیریت آبیاری تناوبی آب شور و شیرین بهینه‌سازی نمود. همان‌گونه که قبلاً اشاره شد، گیاه برنج در ابتدای مرحله رویشی (استقرار) و رسیدگی نسبت به تنش شوری مقاوم و در مرحله زایشی حساس است. بنابراین با اعمال شیوه‌های آبیاری متناسب با مقاومت مراحل مختلف رشد نسبت به شوری می‌توان از منابع آب شور و شیرین به نحوی استفاده کرد که محصول برنج با حداقل افت عملکرد روبرو شود. تابع هدف و متغیر تصمیم برای مدیریت آب‌های با کیفیت متفاوت در مراحل مختلف رشد گیاه برنج (مدیریت تناوبی آب شور و شیرین) به شرح معادله ۲ به کار گرفته شدند:

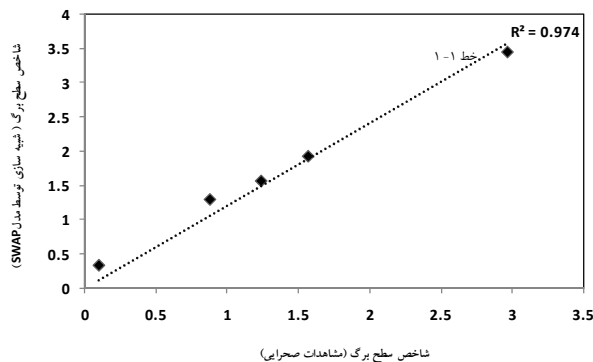
$$\text{Maximum } Y = F(D_1, D_2, D_3, D_4, b_1, b_2, b_3, g_1, g_2, g_3, g_4, T) \quad [2]$$

subject to :

$$5 \leq D_1 \leq 6 \text{ cm}, 2 \leq D_2 \leq 3 \text{ cm}, 2 \leq D_3 \leq 4 \text{ cm}, 1 \leq D_4 \leq 2 \text{ cm} \\ 0 \leq T \leq 8 \text{ day} \quad [3]$$

$$g_1 = 0/747 \text{ dS/m}, g_2 = 1/747 \text{ dS/m} \\ g_3 = 2/247 \text{ dS/m}, g_4 = 2/86 \text{ dS/m} \\ b_1 = 3/36 \text{ dS/m}, b_2 = 3/86 \text{ dS/m}, b_3 = 4/56 \text{ dS/m}$$

که Y عملکرد محصول، F تابع ارتباط‌دهنده برنامه آبیاری با عملکرد محصول،  $D_1$  تا  $D_4$  به ترتیب عمق آب در هر نوبت آبیاری در مراحل استقرار، پنجه‌زنی، زایشی و رسیدگی، T دوره تناوب آب آبیاری،  $g_1$  تا  $g_4$  کیفیت آب آبیاری مناسب با شوری کم (کمتر از ۲/۸۶ دسی‌زیمنس بر متر که حد آستانه



شکل ۲. واسنجی مدل SWAP با استفاده از داده‌های سال ۱۳۸۶ رقم هاشمی

جدول ۳. رژیم بهینه آبیاری برای دستیابی به بالاترین میزان عملکرد محصول در آبیاری تناوبی با آب شور و شیرین

عملکرد محصول (%)	عمق آب در هر نوبت آبیاری (سانتی‌متر)				دوره تناوب (روز)	شوری (دسی‌زیمنس بر متر)			
	استقرار	پنجه‌زنی	زایشی	رسیدگی		استقرار	پنجه‌زنی	زایشی	رسیدگی
۷۶	۵	۲	۳	۱	۵	b <sub>۱</sub>	b <sub>۱</sub>	g <sub>۱</sub>	b <sub>۱</sub>
۷۲	۵	۲	۳	۱	۸	b <sub>۱</sub>	b <sub>۱</sub>	g <sub>۱</sub>	b <sub>۱</sub>
۷۱	۵	۲	۳	۱	۵	b <sub>۱</sub>	b <sub>۱</sub>	g <sub>۲</sub>	b <sub>۱</sub>
۷۰	۵	۲	۳	۱	۵	b <sub>۲</sub>	b <sub>۱</sub>	g <sub>۱</sub>	b <sub>۱</sub>
۶۸	۵	۳	۳	۱	۸	b <sub>۱</sub>	b <sub>۱</sub>	g <sub>۱</sub>	b <sub>۲</sub>
۶۷	۵	۲	۳	۱	۸	b <sub>۱</sub>	b <sub>۱</sub>	g <sub>۲</sub>	b <sub>۱</sub>
۶۶	۶	۲	۳	۱	۸	b <sub>۱</sub>	b <sub>۱</sub>	g <sub>۱</sub>	b <sub>۲</sub>
۶۶	۵	۲	۳	۱	۵	b <sub>۱</sub>	b <sub>۱</sub>	g <sub>۲</sub>	b <sub>۲</sub>

میزان عملکرد در مقایسه با شرایط کنونی کشت برنج که ۸۵ درصد است، کاهش قابل ملاحظه‌ای دارد. بنابراین محافظت از کیفیت آب رودخانه سفیدرود از اهمیت زیادی برخوردار است. هم‌چنین بررسی‌ها نشان داد که در شرایط یکسان از کاربرد متناوب آب شور و شیرین، در صورت تغییر دوره تناوب آبیاری از ۵ به ۸ روز، عملکرد محصول در دامنه ۴ تا ۸ درصد تغییر می‌نماید که بسته به شرایط شبکه و محدودیت منابع آب می‌توان دوره تناوب ۸ روز را نیز پیشنهاد نمود. به منظور مقایسه راهکار مدیریتی استفاده از آبیاری متناوب با آب شور و شیرین با توجه به مراحل مختلف رشد برنج و کاربرد آب با شوری یکسان در تمام مراحل رشد، مدل بهینه‌سازی اجرا و مقادیر بهینه رژیم آبیاری و عملکرد برنج برای هر دو دوره تناوب ۵ و ۸ روز به دست آمدند. جدول ۴ مقادیر بهینه عمق آب آبیاری تحت شرایط آبیاری با آب شور در تمام مراحل

شیرین در مرحله زایشی که حساس‌ترین مرحله رشد گیاه برنج به شوری است و کاربرد آب شورتر در مراحل مقاوم‌تر (استقرار و رسیدگی) منجر به بهبود عملکرد محصول شد. همان‌طور که در جدول ۳ آمده است، بیشترین عملکرد محصول با توجه به دوره‌های تناوب مطلوب و عرف شبکه آبیاری سفیدرود، دوره تناوب ۵ روز با رژیم آبیاری با آب دارای شوری ۰/۷۴۷ دسی‌زیمنس بر متر در سه مرحله رشد ۱، ۲ و ۴ و شوری ۳/۳۶ دسی‌زیمنس بر متر در مرحله ۳ رشد به دست می‌آید. در چنین شرایطی، مناسب‌ترین عمق آبیاری ۵، ۲، ۳ و ۱ سانتی‌متر به ترتیب برای مراحل استقرار، پنجه‌زنی، زایشی و رسیدگی توصیه می‌شود. در صورت استفاده از آب با شوری ۱/۷۴ دسی‌زیمنس بر متر (شوری مشابه با شرایط کنونی رودخانه سفیدرود) در مرحله سوم و شوری ۳/۳۶ دسی‌زیمنس بر متر در سایر مراحل، عملکرد برنج به ۷۱ درصد کاهش می‌یابد. این

جدول ۴. عملکرد محصول با اعمال مدیریت آبیاری با آب شور در تمام مراحل مختلف رشد

عملکرد محصول (%)	عمق آب در هر نوبت آبیاری (سانتی متر)				دوره تناوب (روز)	شوری (دسی‌زیمنس بر متر)			
	استقرار	پنجه‌زنی	زایشی	رسیدگی		استقرار	پنجه‌زنی	زایشی	رسیدگی
۵۳	۵	۲	۳	۱	۵	b <sub>۱</sub>	b <sub>۱</sub>	b <sub>۱</sub>	b <sub>۱</sub>
۴۸	۵	۳	۳	۱	۸	b <sub>۱</sub>	b <sub>۱</sub>	b <sub>۱</sub>	b <sub>۱</sub>

و شوری ۳/۳۶ دسی‌زیمنس بر متر در مرحله ۳ رشد به دست آمد. در چنین شرایطی مناسب‌ترین عمق آبیاری ۵، ۲، ۳ و ۱ سانتی‌متر به ترتیب برای مراحل استقرار، پنجه‌زنی، زایشی و رسیدگی توصیه می‌شود. مقایسه مدیریت آبیاری با آب شور متناسب با مراحل مختلف رشد و اعمال آبیاری با شوری یکسان در همه مراحل رشد گیاه برنج نشان داد که مدیریت آبیاری با آب شور براساس مراحل رشد سبب بهبود ۱۹-۲۴ درصدی عملکرد محصول برنج می‌گردد. استفاده از آب با شوری ۴/۵۶ دسی‌زیمنس بر متر (شوری حاصل از روندیابی حداکثر شوری رودخانه سفیدرود برای ۱۰ سال آینده) حتی در مراحل مقاوم هم سبب افت شدید عملکرد محصول می‌گردد. به طوری که استفاده از این آب حتی در مراحل مقاوم هم توصیه نمی‌گردد. بنابراین اگر شوری رودخانه سفیدرود به میزان ۴/۵۶ دسی‌زیمنس بر متر افزایش یابد این مقدار شوری برای آبیاری برنج بسیار نامناسب است. برای اعمال مدیریت آبیاری متناسب با مقاومت مراحل رشد به شوری، همواره از آب رودخانه و زه‌آب مزارع به ترتیب به عنوان منابع آب شیرین و شور می‌توان استفاده کرد. پس با اعمال شیوه‌های مناسب آبیاری و زه‌کشی در اراضی شالیکاری و مدیریت کیفی حوزه آبریز رودخانه سفیدرود و شبکه آبیاری و زه‌کشی سفیدرود باید تلاش نمود تا از روند افزایش شوری رودخانه سفیدرود جلوگیری به عمل آورده تا در آینده منابع آب کشت برنج در استان گیلان به مخاطره نیفتد.

رشد و عملکرد محصول را نشان می‌دهد. همان‌طورکه در این جدول مشخص است، استفاده از آب با شوری ۳/۳۶ دسی‌زیمنس بر متر منجر به کاهش محسوس عملکرد نسبت به رژیم‌های بهینه ارائه شده در جدول ۳ شده است. به منظور ارزیابی اثر استفاده از آب با کیفیت مطلوب حتی در یک دوره از مراحل حساس رشد برنج، نتایج عملکرد برنج در دو شرایط استفاده از آب شور b<sub>۱</sub> در تمام مراحل رشد با استفاده از آب با شوری g<sub>۱</sub> در مرحله حساس زایشی و شوری b<sub>۱</sub> در سایر مراحل مورد مقایسه قرار گرفتند. عملکرد برنج از ۷۶ و ۷۲ درصد در دوره‌های تناوب ۵ و ۸ روز (جدول ۳) به ۵۳ و ۴۸ درصد در دوره‌های تناوب ۵ و ۸ روز (جدول ۴) کاهش یافت. نتایج به دست آمده نشان می‌دهد که اعمال مدیریت آبیاری با آب شور در مراحل مختلف رشد برنج براساس حساسیت به شوری مراحل رشد، سبب بهبود عملکرد قابل ملاحظه‌ای در میزان محصول گیاه برنج می‌گردد به گونه‌ای که سبب بهبود ۱۹-۲۴ درصدی عملکرد محصول شد.

### نتیجه‌گیری

این تحقیق به منظور بررسی اثر راهکار استفاده از آبیاری متناوب آب شور و شیرین بر عملکرد برنج انجام شد. هم‌چنین مقادیر بهینه شوری، رژیم آبیاری شامل عمق و دوره تناوب آبیاری برای دستیابی به حداکثر عملکرد محصول با استفاده از مدل شبیه‌سازی- بهینه‌سازی به دست آمد. بیشترین عملکرد محصول در دوره تناوب ۵ روز با رژیم آبیاری با آب دارای شوری ۰/۷۴۷ دسی‌زیمنس بر متر در سه مرحله رشد ۱، ۲ و ۴



## منابع مورد استفاده

۱. اسدی، ر.، م. رضایی، ع. یوسفی و ا. اشرف زاده. ۱۳۸۸. امکان پیش‌بینی اثرات شوری آب بر عملکرد ارقام برنج پرمحصول. دوازدهمین همایش کمیته ملی آبیاری و زه‌کشی ایران، اسفند ماه، تهران.
۲. اسدی، ر.، م. رضایی و م. ک. معتمد. ۱۳۸۳. راه حل ساده برای مقابله با خشک‌سالی‌ها در شالیزارهای مازندران. فصل‌نامه علمی- ترویجی خشکی و خشک‌سالی کشاورزی ۱۴: ۸۷-۹۰.
۳. تفتی، ع.، ن. خدابنده، ح. ر. مبصر، ا. رضایی، ر. یدی، و س. باقری. ۱۳۸۴. اثر تنش شوری بر عملکرد و اجزای عملکرد دانه ارقام مختلف برنج. سایت برنج. [www.berenge.com](http://www.berenge.com)
۴. جبلی، ج. ۱۳۸۰. تأثیرات زیست محیطی استفاده از آب‌های شور. مجموعه مقالات کارگاه آموزشی مدیریت استفاده از آب‌های شور، کمیته ملی آبیاری و زه‌کشی ایران. نشریه شماره ۳۲- اسفندماه، تهران، صفحات: ۴۷-۵۸.
۵. دادخواه، ع. ۱۳۸۴. تأثیر تنش شوری بر جوانه‌زنی و رشد گیاهچه چهار ژنوتیپ چغندر قند. مجله پژوهش و سازندگی در زراعت و باغبانی ۷۰: ۸۸-۹۳.
۶. رضایی، م. و م. نحوی. ۱۳۸۲. اثر دور آبیاری بر مقدار مصرف آب و عملکرد برنج در گیلان. مجموعه مقالات یازدهمین همایش کمیته ملی آبیاری و زه‌کشی ایران. نشریه شماره ۸۳، صفحات: ۲۳۳-۲۴۰.
۷. رضایی، م. ۱۳۸۴. گزارش نهایی طرح تحقیقاتی بررسی اثر روش‌های مختلف مدیریت آبیاری بر کارایی مصرف آب و عملکرد برنج (ارقام بینام و حسنی). مؤسسه تحقیقات برنج کشور، رشت.
۸. رضوی پور، ت. ۱۳۷۸. گزارش نهایی طرح بررسی مقاومت ارقام برنج نسبت به شوری آب آبیاری در اراضی ساحلی استان گیلان. مؤسسه تحقیقات برنج کشور، رشت.
۹. فرداد، ح. و ع. شیردلی. ۱۳۷۴. اثر دور آبیاری بر عملکرد محصول دانه جو و رشد آن. مجله علوم کشاورزی ایران. ۱۲۶(۱): ۱۲۰-۱۲۹.
۱۰. کیانی، ع. و م. کوچک‌زاده. ۱۳۸۰. راهکارهای اجرایی و مدیریتی استفاده از آب شور در آبیاری. اولین کنفرانس ملی بررسی راهکارهای مقابله با بحران آب، دانشگاه زابل. صفحات: ۴۶۹-۴۹۱.
۱۱. سلیمانی، ع. و ب. امیری لاریجانی. ۱۳۸۴. اصول به‌زراعی برنج. انتشارات آرویح، تهران. ۳۰۳ صفحه.
۱۲. منصوری، ح. و ب. مصطفی‌زاده. ۱۳۸۵. راهنمای نصب و اجرای مدل swap. اولین همایش منطقه‌ای بهره‌برداری بهینه از منابع آب حوضه‌های کارون و زاینده‌رود. دانشگاه شهرکرد، شهریور ماه. صفحه: ۳۳۲-۳۴۳.
۱۳. مهدوی، ف. و م. پورعزیزی. ۱۳۸۲. مصرف بهینه آب در برنج. سایت برنج. [www.berenge.com](http://www.berenge.com)
14. Akhtar, S., H. Kiyoshi and C. Yann. 2005. Input assimilation of soil water atmosphere and plant (SWAP) model with GA using cluster computers. *Global Change Biol.* 8 (4): 372-389.
15. Boogaard, H.L., C.A. Van Diepen, R.P. Rötter, J.M.C.A. Cabrera and H.H. Van Laar. 1998. WOFOST 7.1 User guide for the WOFOST 7.1 crop growth simulation model and WOFOST Control Center 5.1. Technol. Doc. 52, Alterra, WUR, Wageningen, The Netherlands, 144 pp.
16. Chandra, R. 2001. Development of irrigation water management strategies: A case study. MSc. Thesis, Maharana Pratap University of Agriculture and Technology, Udaipur, India.
17. Droogers, P., W. Bastianssen, M. Beyazgul, Y. Kayam, G. Kite. and H. Murray-Rust. 2000. Distributed agro-hydrological modeling of an irrigation system in western Turkey. *Agric. Water Manage.* 43(2): 183-202.
18. Flowers, T. J., O. R. Iachino, S. A. flowers and A. R. Yeo. 2004. Variability in the resistance of sodium chloride salinity within rice (*Oryza sativa* L.) varieties. *New Phytol.* 88: 363-373.
19. Hasamuzzaman, M., M. Fujita, M. Islam, K. Ahmed and K. Nahar. 2009. Performance of four irrigated rice varieties under different levels of salinity stress. *Intl. J. Integrative Biol.* 6(2): 179-182.

20. Ines, A., V.M. Amor, H. Kiyoshi, G. Ashim Das, P. Droogers and R.S. Clemente. 2006. Combining remote sensing-simulation modeling and genetic algorithm optimization to explore water management options in irrigated agriculture. *Agric. Water Manage.* 83: 221– 232.
21. Mass, E. V. 1986. Sodium- induced calcium deficiency in salt stressed corn. *Plant, Cell and Environ.* 10: 559-564.
22. Mohammadi Nejad, G., R. Singh, A. Arzani, A. M. Rezaie, H. Sabouri. and G. Gregorio. 2010. Evaluation of salinity tolerance in rice genotypes. *Intl. J. Plant Prod.* 4(3): 199-208.
23. Motamed, M., R. Asadi, M. Rezaei. and E. Amiri. 2008. Response of high yielding rice varieties to NaCl salinity in greenhouse circumstances. *Afric. J. Biotechnol.* 7(21): 3866-3873.
24. Raju, K. and D. N. Kumar. 2004. Irrigation Planning using Genetic Algorithms. *Water Resour. Manage.* 18(2): 163-176.
25. Singh, R., J.C. Van Dam and R.A. Feddes. 2005. Water productivity analysis of irrigated crops in Sirsa district, India. *Agric Water Manage.* 82: 253-278.
26. Stephan, R., L. Zeng, M. C. Shanon and S. Roberts. 2002. Rice is more sensitive to salinity than previously thought. *Calif. Agric.* 56(6): 145- 156.
27. Tun, N., B. Heiligttag, A. Kleeberg and C. Richter. 2001. Salt tolerance of rice (*Oryza sativa* L.) varieties from Myanmar. *Rural Poverty Reduction through Res. for Develop. and Transform.* 78 (4):182-7.
28. Zhao Y., D. Zhang, T. Yonglu, W. Jiao and J. Lingyong. 2009. An optimal model of a agriculture circular system for paddy & edible fungus & dry land. *Intl. J. Manage. Sci. and Eng. Manage.* 4: 302-310.

## Evaluating the Effect of Fresh and Saline Water Irrigation Management on Hashemi Rice Yield

M. Navabian\* and M. Aghajani<sup>1</sup>

(Received : Mar. 12-2011 ; Accepted : Apr. 23-2012)

### Abstract

In Guilan province, Sefidrud River, as the main source of irrigating rice in Guilan province, has been subjected to increasing salinity and a decreasing discharge because of decreasing in the volume of sefidrud dam, diverting water upstream and entering different sewages into the river. This research tries to determine optimum irrigation depth and intermittent periods in proportion to salinity resistance at different growth stages using optimization- simulation model. After calibration, Agro-hydrological SWAP model was used to simulate different growth stages of rice. Optimization results were obtained for managing fresh and saline intermittent water, 8-day intermittent period, for salinity of 0.747 dS/m in sensitive maturity stage and salinity of 3.36 dS/m in resistant vegetative, tiller and harvest growth stages. It is suggested that the depth of irrigation water be 1, 3, 3 and 5 cm for vegetative, tiller, maturity and harvest stages, respectively. Comparing managements of irrigation and saline based on the resistance of different growth stages to salinity and exploitation of irrigating water with a constant salinity during growth periods of the plant showed that irrigation management based on resistance of different growth periods of the plant to salinity causes rice yield to be improved by 23percent.

**Keywords:** Optimization of irrigation regime, SWAP model, Intermittent management with fresh and saline water, Resistance of growth stages to salinity.

---

1. Assis. Prof. and Former MSc. Student of Water Eng., Respectively, College of Agric., Guilan Univ., Rasht, Iran.

\*: Corresponding Author, Email: navabian@guilan.ac.ir